

## II-373 – SIMULAÇÃO NUMÉRICA 3D EM UM REATOR RALF, PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS: ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS E GEOMETRIA

**Vitor Alécio Sevilha Gorzoni**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá – UEM /PR. Mestrando, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Estadual de Maringá- PEU/UEM. Engenheiro de Projetos e Obras – SANEPAR/Maringá – PR..

**Regiani Aparecida de Almeida**<sup>(2)</sup>

Matemática pela Universidade Estadual de Maringá - UEM/PR. Mestre e Doutora em Engenharia Química – Pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – PEQ –UEM. Pós Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana.

**Ricardo Vicente de Paula Rezende**<sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/SC. Mestre em Engenharia Mecânica no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – UFSC/SC e Doutor em Engenharia Química pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – UFSC/SC

**Sandro Rogério Lautenschlager**<sup>(4)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá–UEM. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento – POLI/USP. Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – da Universidade Estadual de Maringá - UEM/PR

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Pedro Taques, 1381 – Vila Santo Antonio – Maringá – PR - CEP: 87200-000 - Brasil - Tel: (44) 3293-1022 - e-mail: vitorsg@sanepar.com.br

### RESUMO

Os reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado ou RALF's são largamente utilizados no tratamento de efluentes, sobretudo pela facilidade na operação e o baixo custo operacional, apesar de relativa simplicidade na operação deve-se garantir que os parâmetros básicos de projeto como velocidade ascensional, velocidade de decantação, e tempo de detenção hidráulico (TDH) sejam atendidos. Portanto torna-se necessário a observação nos reatores se existe a formação de zonas mortas e/ou curtos circuitos. Neste trabalho foi utilizado-se como ferramenta de simulação o software Ansys-CFX, para observar no reator proposto às linhas de corrente a distribuição de velocidade ascensional. Com os dados de velocidade determinou-se o TDH, para as soluções de projeto proposto. Para o RALF 1 sem cortina defletora obteve-se uma velocidade média de  $1,08\text{m.h}^{-1}$ , para o RALF 2 com uma cortina defletora a velocidade média foi de  $1,9\text{m.h}^{-1}$  e para o RALF 3 a velocidade média foi de  $1,95\text{m.h}^{-1}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Ralf, Simulação 3D, linhas de corrente, Tratamento de Efluentes.

### INTRODUÇÃO

O Sistema de Tratamento anaeróbio, de efluentes é utilizado em larga escala no Brasil devido a algumas vantagens, sobretudo em relação ao consumo energético, custos operacionais baixos e boa eficiência quanto à remoção de matéria orgânica. Segundo Jordão e Pacheco (2014), o sistema de tratamento anaeróbio foi largamente utilizado para digestão do lodo.

A utilização da técnica para tratamento de efluentes líquidos é recente, e a aplicação de modelagem matemática para análise do escoamento deste processo é ainda limitada. Dentre os reatores mais difundidos e utilizados em larga escala no Brasil podemos destacar dois tipos: os UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), no qual, através do processo de digestão as bactérias formam flocos ou sólidos que se sedimentam formando os mantos de lodos e o outro reator, o qual é objeto deste estudo, o RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado) neste, o sistema de digestão é semelhante ao do UASB, porém a matéria particulada do esgoto existente é aderida ao lodo, formando o biofilme junto às partículas fluidizadas.

Segundo (Chernicaró et al 2009), a matéria orgânica que chega aos reatores está sujeita a digestão e apenas parte desta matéria orgânica pode ser degradada devido a presença de caminhos preferenciais no Reator. Estes caminhos preferenciais podem causar “curtos – circuitos” prejudicando o processo de digestão e causando a diminuição do tempo de detenção hidráulico (TDH).

Os RALF's têm como principais elementos, o separador trifásico que tem como objetivo separar as fases líquida, sólida e gasosa no reator. Na câmara de digestão é onde se localiza a manta do lodo, zona de transição, zona de compressão, zona de colmatação, zona de decantação e zona de ascensão, onde o subproduto da digestão anaeróbia o Gás o metano ( $CH_4$ ) é produzido. Este gás pode ser reaproveitado ou então queimado através de queimadores de gás, para posterior disposição na atmosfera.

Um fator importante que pode afetar diretamente a digestão anaeróbia são os sólidos Fixos (SSF), que representam a parte de sólidos que não se volatilizam como areia. Em condições operacionais o acúmulo de sólidos Fixos, pode inibir o processo de digestão diminuindo o volume útil do reator e assim, formar caminhos preferenciais e diminuindo o TDH. Portanto antes do tratamento anaeróbio pelos reatores faz-se necessário o tratamento preliminar através de gradeamento e desarenadores para redução dos sólidos fixos, entretanto uma parcela pode continuar no efluente e irá acumular-se no reator principalmente em zona sem movimento (zona morta).

A fluidodinâmica computacional ou (*Computational Fluids Dynamics*) CFD é uma área de grande interesse para a solução de problemas práticos da indústria, realizados através de softwares que simulam a dinâmica dos fluidos no interior de reatores como, por exemplo, o RALF (Cruz, 2013). A partir de tal metodologia é possível observar padrões de fluxo de sólidos e líquidos em decantadores (Clercq, 2003), reatores de leito fluidizados, padrões hidrodinâmicos em colunas de borbulhamento, perfis de velocidade, linhas de corrente, frações volumétricas que ocupa cada uma de fases no interior do reator bem como o TDH (Rezende et al., 2015). O TDH, pode ser calculado através do V (Volume útil do reator) e da Q (Vazão) conforme equação 1,

$$TDH = \frac{V}{Q}, \quad \text{equação (1)}$$

onde V = Volume  $m^3$  e Q = Vazão  $m^3/h$ . Segundo a ABNT 12209/2011 o tempo de detenção hidráulica pode variar de 6h a 10 h, será utilizado o tempo de 8 horas neste trabalho, para simulação em CFD.

Com o auxílio da simulação em CFD é possível obter resultados rapidamente e com baixo custo quando comparado com a construção de modelos físicos para simulação do escoamento. Após a inserção de condições de contorno e iniciais as Equações Diferenciais Parciais (EDP's) são discretizadas e resolvidas numericamente pelo software empregando o método dos Volumes Finitos Baseado em Elementos (EbVFM) (Maliska, 2004).

Este trabalho tem como objetivo, avaliar a distribuição de velocidades em um RALF com três configurações de cortina e com condição de vazão usada no projeto do RALF.

## METODOLOGIA

### Modelo Matemático

Para descrever o processo do RALF foi proposto o modelo matemático baseado na equação de Navier-Stokes equações de conservação da massa (equação (2)), da quantidade de movimento (equação (3)), ponderada pela média de Reynolds (RANS) com o modelo k- $\epsilon$  de turbulência (equação (4) e (5)), em regime permanente:

$$\nabla \cdot (U) = 0 \quad \text{equação (2)}$$

$$\nabla \cdot (\rho U) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) \quad \text{equação (3)}$$

$$\nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k + p_k - \rho \epsilon + P_{kb} \quad \text{equação (4)}$$

$$\nabla \cdot (\rho U \varepsilon) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho P_\varepsilon + C_{\varepsilon 1} P_{\varepsilon b}) \quad \text{equação (5)}$$

onde  $\rho$  é a densidade da água,  $U$  é o vetor velocidade do fluido,  $p$  é a pressão,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $\tau = -\frac{2}{3} \mu \cdot \nabla U + \mu (\nabla U + \nabla U^T)$  o tensor tensão de Reynolds,  $\mu_t$  é a viscosidade turbulenta,  $k$  é a energia cinética turbulenta,  $\varepsilon$  é a dissipação da energia cinética turbulenta,  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $P_k$ ,  $P_{kb}$  e  $P_{\varepsilon b}$  são constantes do modelo, detalhes em ANSYS, (2012). Na Tabela 1, estão os valores utilizados para simulação hidráulica.

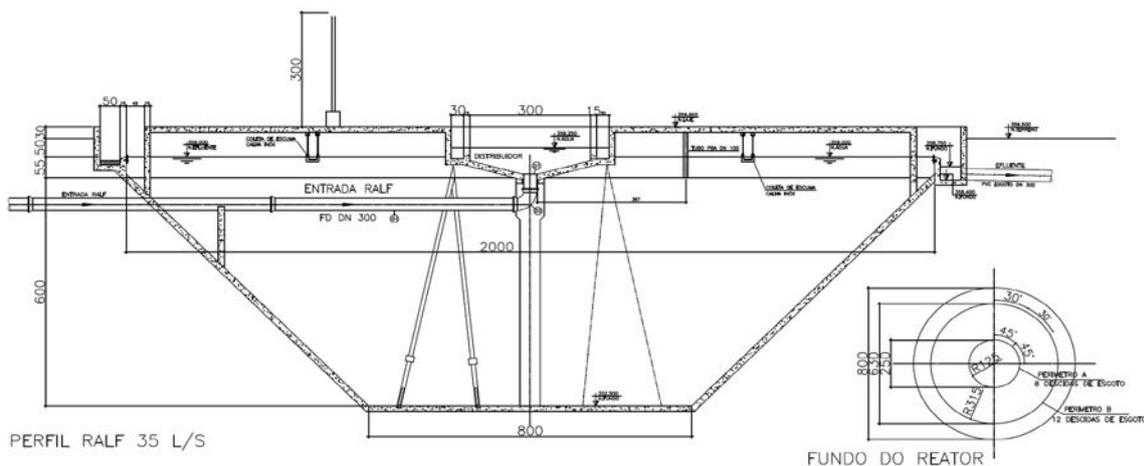
**Tabela 1: Condições de entrada - Parâmetros**

Parâmetro	Simulação 3D - Modelo
Pressão Estática Relativa	1 [atm]
Velocidade Entrada do fluxo	4,45 m/s
Condição de Parede	Não deslizamento
Turbulência	Média Intensidade (5%)
Tempo de Detenção Hidráulica	10 h
Densidade do líquido	1.000 kg/m <sup>3</sup>
Quantidade de Elementos de Malha	500.000
Geometria de Malha	Triangular

### Geometria do Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado - RALF.

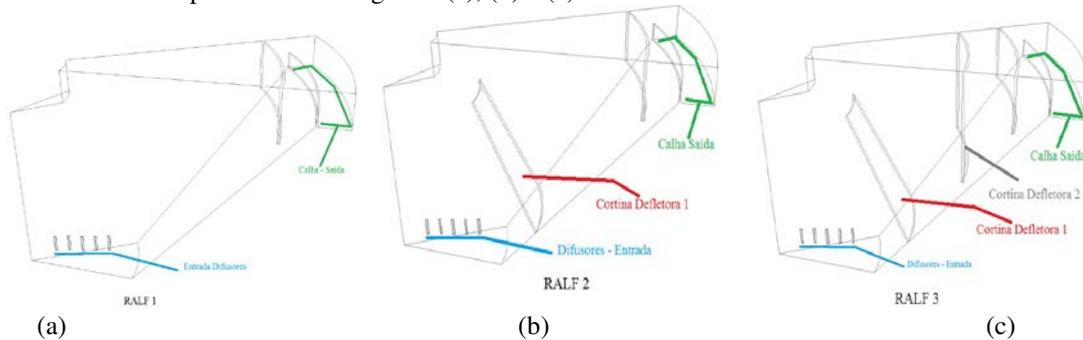
O reator estudado RALF, tem vazão de 35 l.s<sup>-1</sup> ou 126 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> a estrutura é em Concreto Armado com altura útil de 6,55 m e volume útil de 1070,02m<sup>3</sup>, o Reator possui 60 tubos difusores, o perfil do reator estudado com as dimensões é apresentando na figura 1. O TDH para cálculo de projeto é de 8 horas.

As três formas adotadas para simulação da cortina, sendo denominado RALF 1, o reator original conforme Figura 1.



**Figura 1: Perfil do reator.**

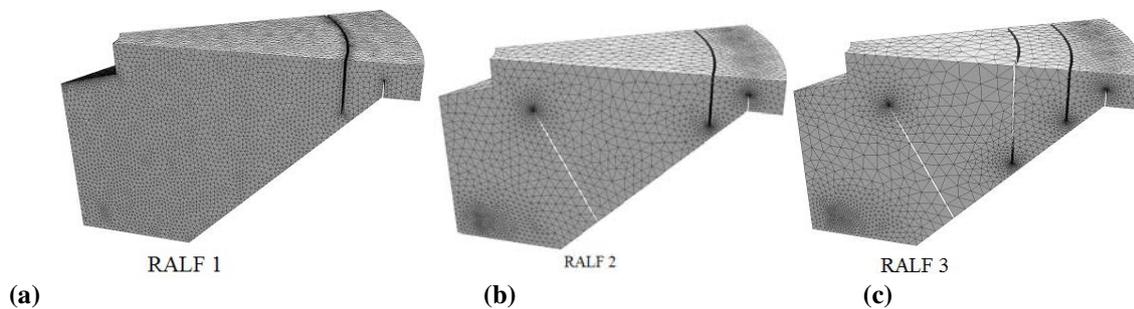
Para realização simulação o reator foi seccionado a ângulo de 30°, Em cada um deste setor têm-se os difusores de entrada e a calha de saída. Com esta solução pode-se reduzir o tempo de calculo computacional. Os tipos de cortinas adotados são apresentados na figura 2 (a), (b) e (c).



**Figura 2 : Modelo de cortinas simulados (a) (RALF 1), (b) RALF e (c) RALF 3.**

A partir da geometria, foi gerada uma malha não estruturada para a discretização do domínio computacional como esquematizado conforme ilustrado na figura 3 (a), (b) e (c) no software ICEM-CFD e em seguida, selecionadas as condições iniciais e de contorno, as quais são determinadas pelas condições de operação do equipamento (vazão de entrada e pressão). Na sequencia foi escolhido o esquema numérico no software ANSYS CFX 14.5 para a solução do problema via EbVFM.

Os resultados foram analisados com o pós processador CFX-post 14.5. A simulação realizada em fase única com escoamento de água pura, com vazão de entrada de 35 l/s a fim de verificar o padrão de escoamento, em regime permanente, isotérmico e turbulento empregando o modelo de turbulência k-epsilon. A condição de contorno da saída foi de pressão nula sendo que a pressão de referência dentro do domínio foi de 1 bar.



**Figura 3: Malha gerada para cada tipo de cortina (a) RALF 1, (b) RALF 2 e (c) RALF 3.**

## RESULTADOS

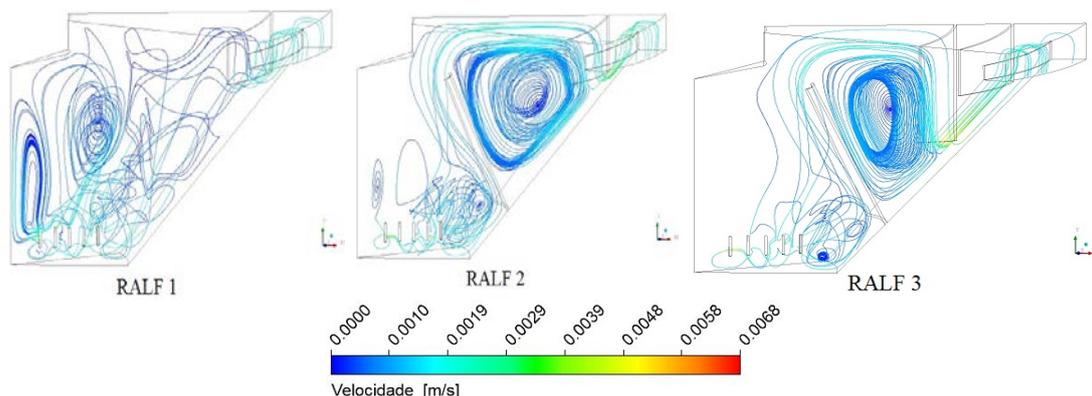
### Linhas de Corrente

Na figura 4(a), (b) e (c) apresenta-se a distribuição das linhas nos três tipos de cortinas simulados. O RALF 1 foi simulado sem cortina defletora, portanto não há separação entre o compartimento de digestão e o compartimento de decantação, as linhas mostraram uma melhor distribuição, com velocidades entre 0,000 e 0,0010 m/s. No RALF2 foi inserido uma cortina intermediária sem abertura no fundo, a velocidade de mistura aumentou, mas a variação ficou entre 0,000 a 0,0001 m/s, sendo que a velocidade na câmara de digestão ficou próxima, a velocidade na câmara única do RALF1, e na câmara de decantação, verificou-se, a velocidade entre 0,0005 m/s a 0,001m/s. No RALF3 adicionou-se uma cortina defletora, com objetivo de criar uma zona intermediária de decantação, entretanto verificou-se que as velocidades aumentaram, pois a área de distribuição do fluido para expansão diminui, e no caso o escoamento aumentou a velocidade. Porém foram medidos graficamente as distancias mínimas do afluyente a percorrer dentro do reator que é expressa pela Tabela 2

**Tabela 2: Distancia - Parâmetros**

Reator	Distância Mínima (m)
RALF 1	9,1
RALF 2	12,4
RALF 3	16,2

Sobre o ponto de vista da distância do afluente a percorrer no escoamento hidrodinâmico, o Reator 3, leva a vantagem, pela maior distância do afluente a percorrer, porém houve aumento considerável da sua velocidade sobretudo na câmara de decantação.



**Figura 4: Linhas de fluxo (a) RALF 1, (b) RALF 2 e (c) RALF 3.**

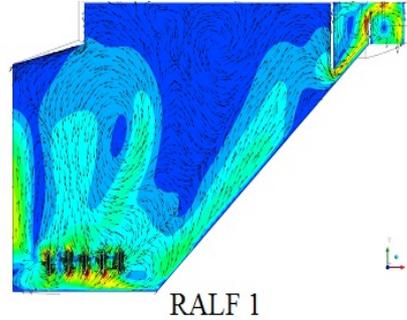
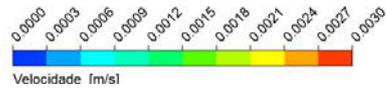
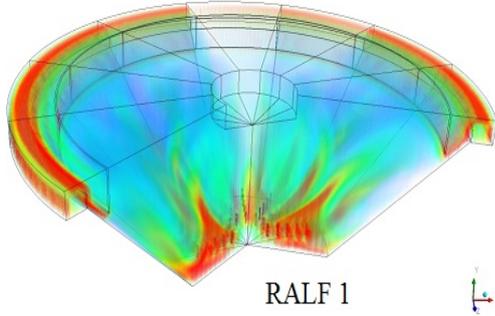
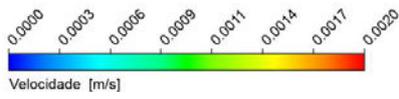
#### TDH e Perfil de Velocidades

O que foi observado, nas simulações a evolução no sentido da corrente e linhas de fluxo, quando foi inserido as cortinas defletoras ,houve melhora considerável no arranjo dos sentido de fluxo, No RALF 1 não temos caminho definido a distribuição é esparsa; No RALF 2, observou-se um sentido de corrente na câmara de digestão e decantação, o caminho percorrido foi maior de acordo com a tabela 2, já no Reator 3, obtivemos caminhos e direcionamento do fluxo, e com a inserção da cortina defletora 2, foi criado uma câmara intermediária de decantação, o que de alguma forma acelerou o processo em termos de velocidade, mas é possível observar o movimento bem definido das linhas de fluxo.

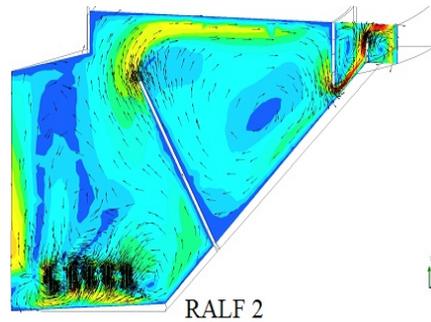
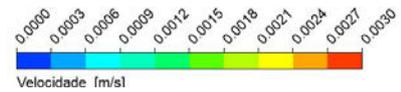
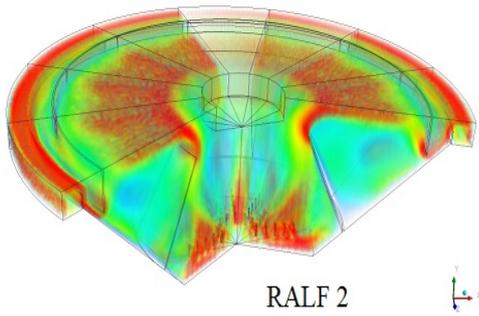
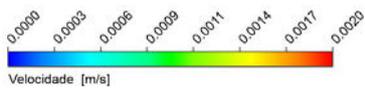
Todos os reatores foram simulados para a vazão máxima de projeto. No RALF 1 conforme ilustrado na figura 5 temos uma distribuição esparsa ou espalhada do reator onde a velocidade preponderante esta na faixa de até 0,0003 m/s ou até 1,08 m/h, como não há existe cortina defletora a câmara de digestão e a câmara de decantação mantem a mesma velocidade ficando dentro parâmetro teórico que segundo Jordão e Pessoa (2014) deve ser menor do 1,2 m/h para vazões máximas. Na figura 4, observa-se que praticamente não há formação de caminhos preferenciais, porém verifica-se a formação de zonas mortas, na cor azul escura.

No RALF 2 a distribuição de velocidade é ilustrado na figura 6 tem-se na câmara de digestão a velocidade média de 0,0005 m/h até 1,8 m/h ficando acima do valor de velocidade ascensional média de 1,2 m/h sugerido por Jordão e Pessoa (2014), e na câmara de decantação a velocidade média foi de 0,0006 m/s ou 2,1 m/h. No RALF 2, verifica-se uma redução na formação de zonas mortas e podendo ser reflexo do aumento da velocidade pela inserção da cortina defletora.

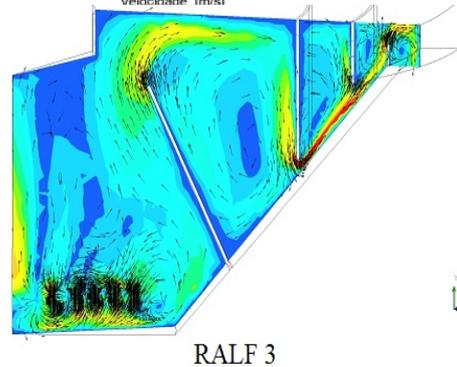
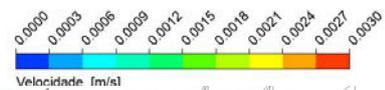
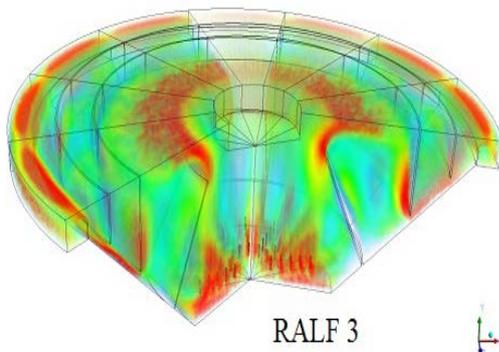
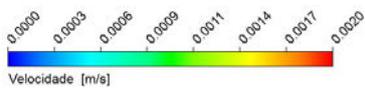
Observa-se que a distribuição de velocidade no RALF 3 (figura 7) que a condição é semelhante ao do RALF 2, na câmara de digestão com velocidade média 1,8 m/h e na câmara intermediaria (decantação) velocidade em torno de 2,10 m/h e na 2ª câmara velocidade de 2,1 m/h. No RALF 3, observa-se poucas regiões com zonas sem circulação (zonas mortas), e melhora no sentido de fluxo da corrente, existe caminhos e sentido de fluxo definido.



**Figura 5: Volume rendering de velocidade – Perfil de velocidade com vetores velocidade aplicados em um plano de corte central da geometria – RALF 1**



**Figura 6: Volume rendering de velocidade – Perfil de velocidade com vetores velocidade aplicados em um plano de corte central da geometria – RALF 2**



**Figura 7: Volume rendering de velocidade – Perfil de velocidade com vetores velocidade aplicados em um plano de corte central da geometria – RALF 3**

Usando as velocidades encontradas com os dados de espaço mínimo a percorrer dentro do reator pode-se determinar o TDH.

$$V = \frac{S}{T} \text{ onde } V, \text{ velocidade em (m.h}^{-1}\text{)}, S \text{ espaço em (m) e } T \text{ tempo de Detenção em (h).}$$

**Tabela 3: Distância - Parâmetros**

Reator	Distância Mínima (m)	Velocidade Média m/h (digestão + decantação)/2	TDH (h)
RALF 1	9,1	1,08	8,42
RALF 2	12,4	1,9	6,52
RALF 3	16,2	1,95	8,30

## CONCLUSÃO

Nas simulações realizadas, pode-se observar que no RALF 1, temos distribuição esparsa (espalhada) quanto as linhas de fluxo e velocidade, porém foram identificados zonas mortas no RALF1 que dificultam o processo de digestão e decantação no processo. No RALF 2 com cortina defletora sem abertura inferior a velocidade média observada foi próximo de de 1,8 m.h<sup>-1</sup>, e TDH sendo o menor das três soluções adotadas. Houve uma melhora no sentido de distribuição, pois foi observado sentido defluxo e caminhos definidos. No RALF 3 as velocidades foram semelhantes a do RALF 2 em torno de 1,8 m/h, porém o caminho a percorrer do afluente foi o maior, com o tempo de detenção de 8,30 horas, e poucas zonas morta, e ainda linhas e fluxos com direção bem definida. Com inserção de cortinas e aumento do tempo de detenção ainda, podemos melhorar o contato, entre biomassa e o efluente, e também a melhoria de atividade da biomassa. Tanto no RALF 2 e o RALF 3 que apresentaram melhor distribuição, seria necessário a inserção de sistema de descarga intermediário de lodo, nas câmaras de decantação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – NBR 12209/2011, Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Sistema de Tratamento de; esgotos Sanitários, Rio de Janeiro 2011.
2. ANSYS CFX-Solver Theory Guide 14.5, 2012.
3. CHERNICHARO, C.A.L., et al. Influência da Alteração da Distribuição do Tamanho de Partículas no desempenho do Reator UASB, tratando esgotos Domésticos. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES v.14 n.2 – p.159-166, Abr. 2009.
4. CLERCQ, B. D. Computational Fluid Dynamics Of Settling Tanks: Devevelopment of Experiments and Rheological, Settling, and Scraper Submodels. University Gent p. 456, 2003.
5. CRUZ, C. R., et al. Avaliação do comportamento hidrodinamico de reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente com diferentes configurações do sistema de distribuição do afluente utilizando fluidodinâmica computacional. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES v.21 n.4 – p.721-730, Out. 2016.
6. JORDÃO, E. P., PESSÔA C. A., Tratamento de Esgotos Domésticos. – 7º Edição – Rio de Janeiro – ABES p.881-908, 2014.
7. MALISKA, C. R. Transferência de Calor e Mecânica Dos Fluidos Computacional - 1º Edição - Editora LTC p. 342, 2004.
8. REZENDE, R. V. P., ALMEIDA, R. A., ULSON DE SOUZA, A. A. & GUELLI U. SOUZA, S. M. A. A two-fluid model with a tensor closure model approach for free surface flow simulations. Chemical Engineering Science, n 122, p.596-613, 2015